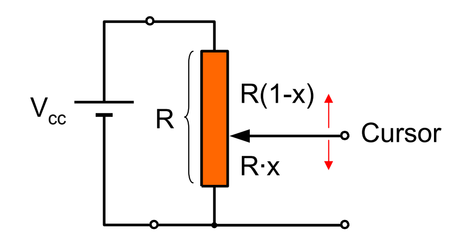
Lección 6
Sensores resistivos

6.1 Sensores Potenciométricos



Aplicaciones

- Medida de desplazamientos
- Medida de presión
- Medida de nivel

Problemas

- Mecánicos
- Rozamiento
- Autocalentamiento
- Inercia

• Un **potenciómetro** es un dispositivo electromecánico que consta de una resistencia de valor fijo sobre la que se desplaza un contacto deslizante, el **cursor**, que la divide eléctricamente.

• La aplicación más común de este dispositivo en instrumentación es como **sensor de desplazamiento** de tipo resistivo. El movimiento del cursor origina un cambio en la resistencia medida entre el terminal central y uno cualquiera de los extremos. Este cambio de resistencia puede utilizarse para medir desplazamientos lineales o angulares de una pieza acoplada al cursor. Para la obtención de una señal eléctrica relacionada con el desplazamiento se alimenta en general, con una tensión continua, adoptando la configuración de un simple divisor de tensión.

• Los potenciómetros pueden utilizarse para medir diversas magnitudes físicas siempre que sea posible convertirlas en un desplazamiento.

• A pesar de que estos sistemas fueron los primeros que se emplearon en la instrumentación industrial, hoy en día la aplicación del potenciómetro como sensor de desplazamiento ha caído en desuso por diversos problemas:

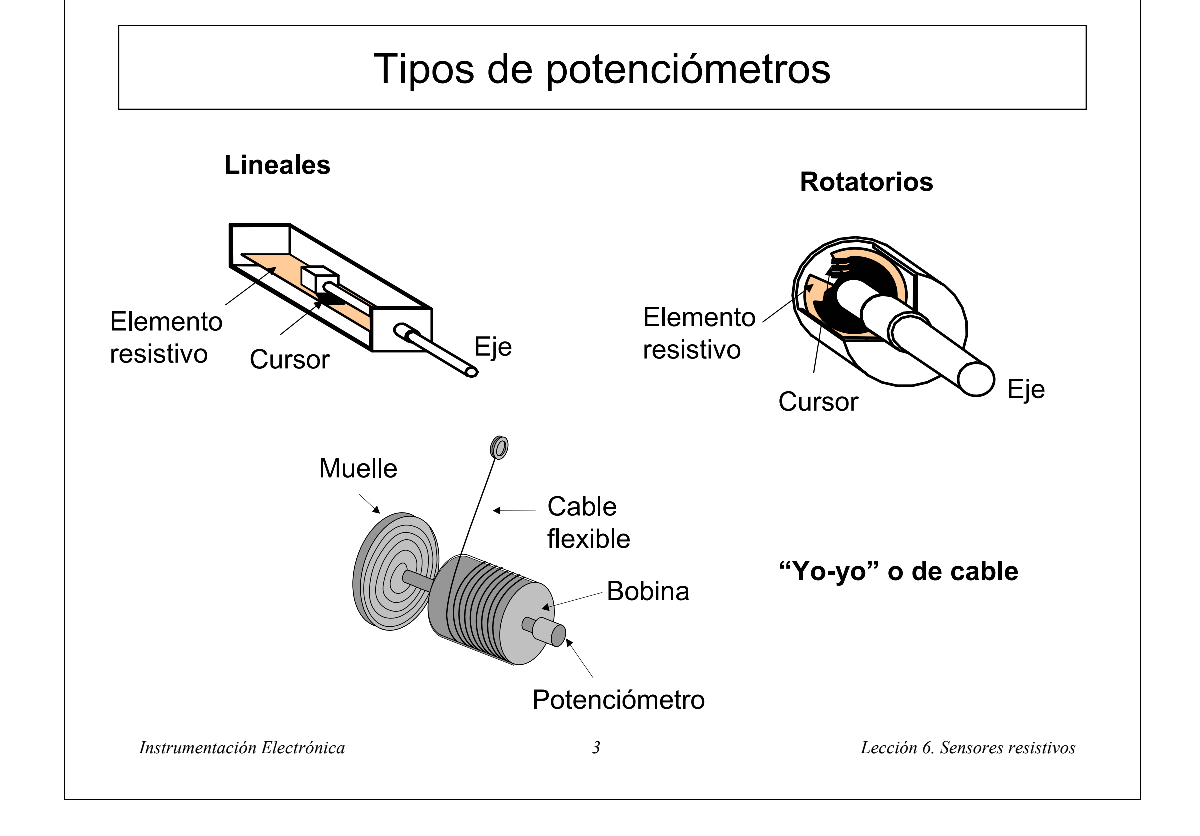
- Mecánicos: anclajes, rodamientos, guías.

- Rozamiento: acorta la vida. Suele indicarse la vida mecánica en ciclos.

- Autocalentamiento: provoca errores, ya que la resistencia varía con la temperatura.

- Vibraciones: puede provocar la pérdida de contacto del cursor sobre la resistencia.

Estos problemas han hecho que estos dispositivos hayan sido sustituidos por dispositivos más fiables basados en procedimientos de detección ópticos como los codificadores de impulsos.



Los potenciómetros se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios:

• **Según elemento resistivo utilizado:**

- **Hilo bobinado**: el elemento resistivo es un hilo arrollado sobre un soporte. Excelente estabilidad térmica y capacidad para manejar niveles de potencia considerables.

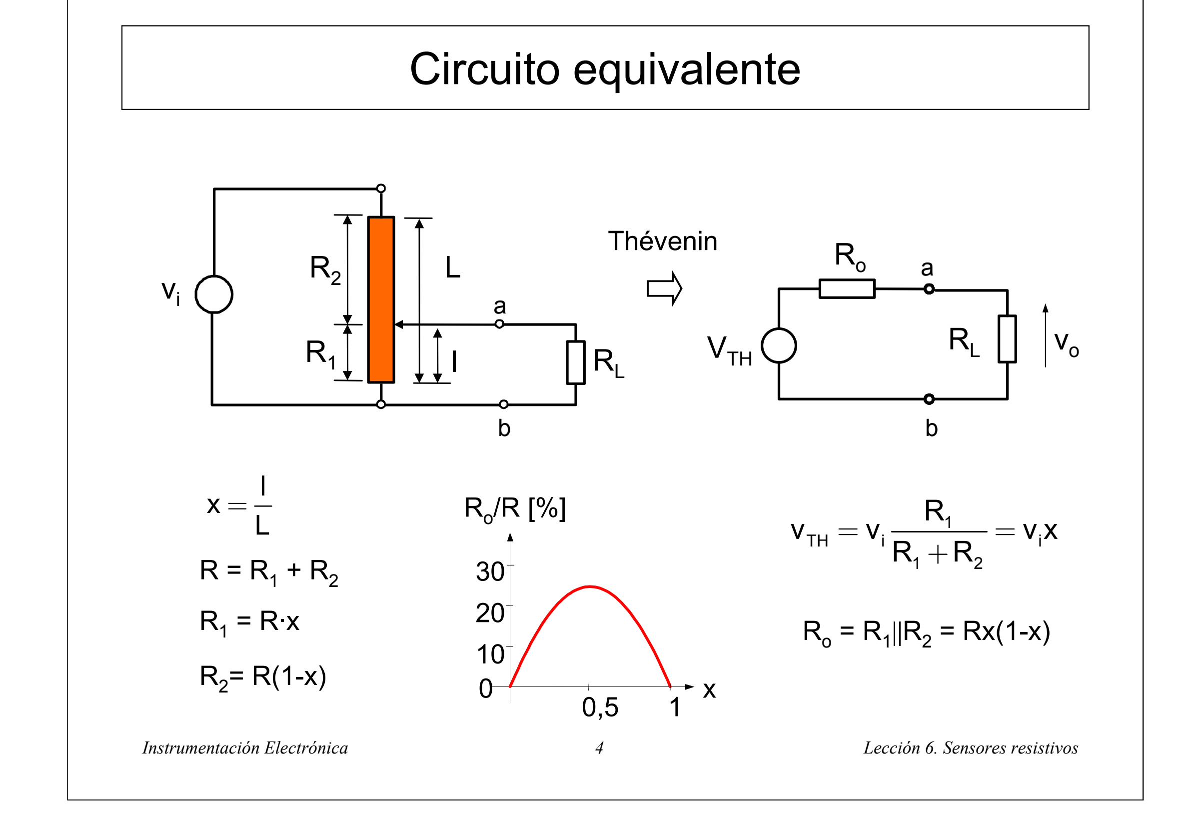
- **No bobinados**: el elemento resistivo puede ser cermet (aleación de cerámica y metal), carbón, plástico conductivo, película metálica.

• **Por el tipo de desplazamiento que realice el cursor:**

- **Movimiento lineal**: el cursor describe desplazamientos en línea recta. El desplazamiento puede ir desde milímetros hasta varios metros.

- **Rotatorios**: pueden ser de una vuelta o multi-vuelta (3, 5, 10 o 15)

- **Cuerda, "yo-yo" o de cable**: permiten medir la posición y la velocidad de un cable flexible arrollado en una bobina que está sometida a la tracción de un muelle. Pueden llegar a medir varias decenas de metros del cable.



Consideremos el circuito de la figura formado por un potenciómetro lineal de resistencia nominal R y de longitud de desplazamiento máximo, L. Sea l el desplazamiento actual medido desde un punto tomado como referencia y sea x=l/L la fracción del desplazamiento recorrido. Como el potenciómetro es lineal, a una fracción de recorrido *x*, le corresponde una fracción equivalente de la resistencia nominal R. Se obtienen así las relaciones: $R_1=Rx$ y $R_2=R(1-x)$.

El comportamiento del potenciómetro como elemento de un circuito depende de su de su impedancia de salida**,** R_o. La figura de la derecha muestra el circuito equivalente Thevenin visto entre el cursor y el extremo de referencia. La impedancia de salida cambia en función de la fracción de desplazamiento x, llegando a ser hasta un 25% del valor nominal del potenciómetro, justo a la mitad del recorrido. En el resto de posiciones, excepto en los extremos, el efecto de la impedancia de salida va a influir sobre la tensión leída, es decir, va a introducir un error respecto a la respuesta ideal.

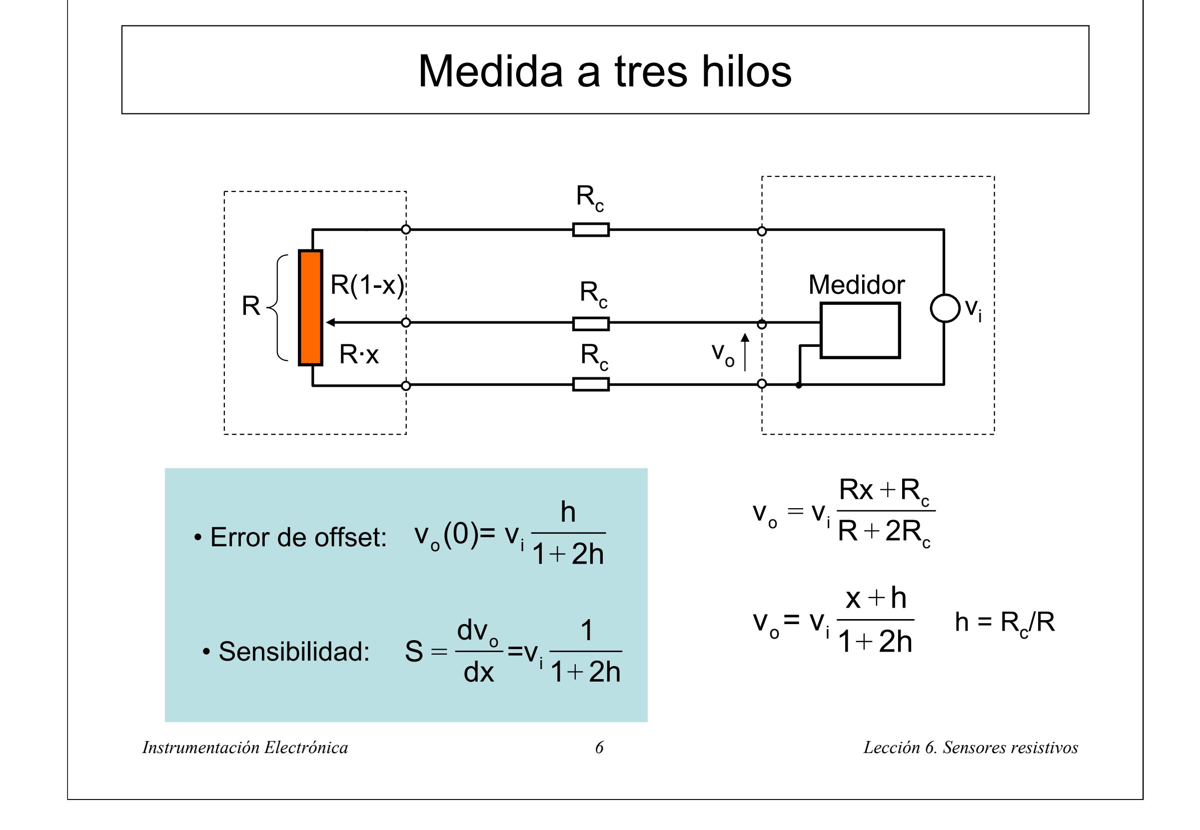
El potenciómetro en carga

$$v_o = v_i x \frac{R_L}{\underbrace{Rx(1-x)}_{R_o} + R_L}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{x}{\frac{x(1-x)}{k} + 1} \qquad k = R_L/R$$

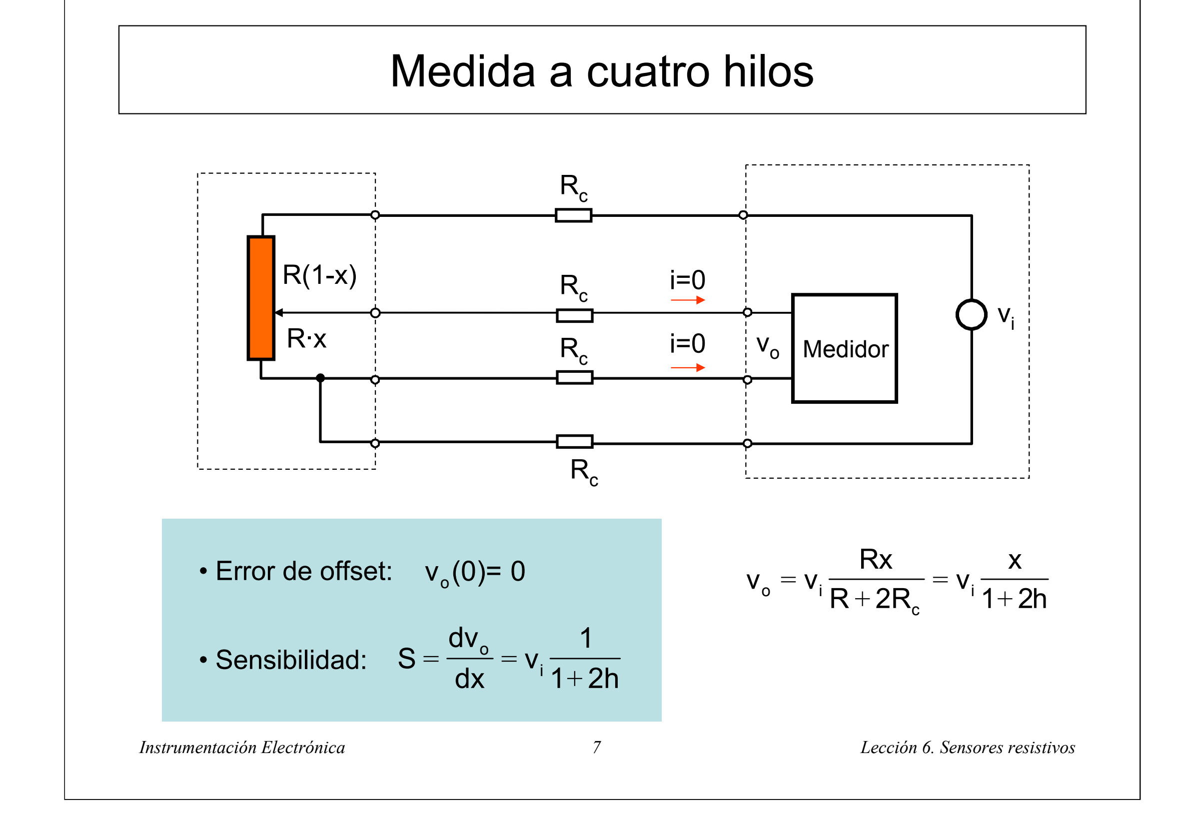
El error de no linealidad es menor para R_L grandes

Analizando el circuito del potenciómetro con carga de la figura se obtiene la relación entre la tensión de salida y el desplazamiento. Esta relación se ha representado gráficamente. Vemos como al conectar una carga al potenciómetro se introduce en el sistema un **error de no linealidad**. La magnitud de esta no linealidad depende de *k*, que es la relación entre la resistencia de carga y la nominal del potenciómetro. Si R_L es considerablemente mayor que R, es decir, para un K suficientemente grande, la salida es prácticamente lineal como se muestra en la figura para k=10. Si el valor de R_L es similar al valor de R, (k=1) la salida presenta un error de linealidad apreciable. En resumen para conseguir una respuesta lineal se debe exigir al sistema que se acople una impedancia de entrada alta comparada con la resistencia nominal del potenciómetro.



• Además del error debido a la carga, otra fuente de error en los sistemas de medida basados en potenciómetros es el cableado. En general, un cable presenta una resistencia pequeña, pero la situación cambia cuando supera cierta longitud. La figura muestra un **sistema de medida a tres hilos** en el que la señal de salida del potenciómetro se envía a través de tres cables al punto donde se procesa la medida. La alimentación también se envía de forma remota.

• Despreciando el error debido a la carga, es decir, considerando que la impedancia de entrada del medidor es muy elevada comparada con la impedancia de salida del conjunto sensor potenciométrico-cables. Del análisis de la expresión de v_o se deduce que se tiene un **error de offset** o **error de cero**, dado que para x=0 se tiene una tensión distinta de cero. Por otro lado la sensibilidad se aparta de la ideal.

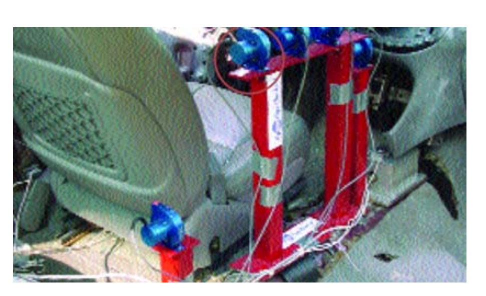


Para eliminar el error de *offset* puede utilizarse el circuito de **medida a cuatro hilos** de la figura.

Ejemplos de aplicaciones



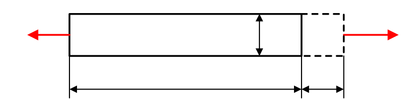
Monitorización de la suspensión de un tren



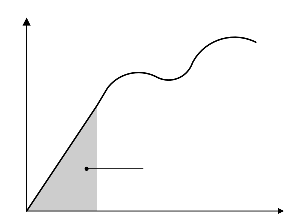
Test de impacto en un vehículo

6.2 Galgas extensiométricas

- Variaciones de la resistencia de un conductor o semiconductor sometido a un esfuerzo mecánico.



$$R = \rho \frac{l}{\pi d^2 / 4} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - 2\frac{\Delta d}{d}$$



Ley de Hooke: $\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon = E\frac{\Delta l}{l}$

σ = Esfuerzo axial
E = Módulo de Young
A = Sección del material
ε = Deformación unitaria ($1\mu\varepsilon = 10^{-6}$ m/m)

Factor de galga

- Variación de resistencia respecto a la deformación:

$$K = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta l / l} = \frac{\Delta R / R_0}{\varepsilon} \qquad (2{,}0 - 4{,}5)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R}{R_0}$$

R_0 = Resistencia en reposo

- Resistencia tras la deformación: $R = R_0 + \Delta R$

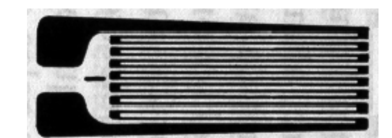
$$R = R_0 + K \cdot R_0 \cdot \varepsilon = R_0(1 + K\,\varepsilon)$$

- Sensibilidad de la galga a la deformación: $S_G = \frac{\Delta R}{\varepsilon} = K \cdot R_0$

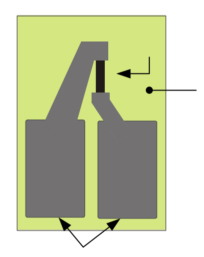
De la expresiones anteriores vemos que para lograr mayores cambios en ΔR, será conveniente tener mayores longitudes de hilo (p.e con una disposición en zig-zag) y de pequeña sección.

Tipos de galgas

Metálicas



Semiconductoras



- Las más empleadas
- Margen de medida: 0,1 – 40000 με
- K = 2 ÷ 5
- R = (120 Ω, 135 Ω, 600 Ω…) ±0,1%
- Tamaño: 0,4 ÷ 150 mm

- Margen de medida: 0,001 ÷ 3000 με
- K = 50 ÷ 200
- R = 1k ÷ 5kΩ ±1%
- Tamaño: 1 ÷ 5 mm
- Sensores integrados de presión

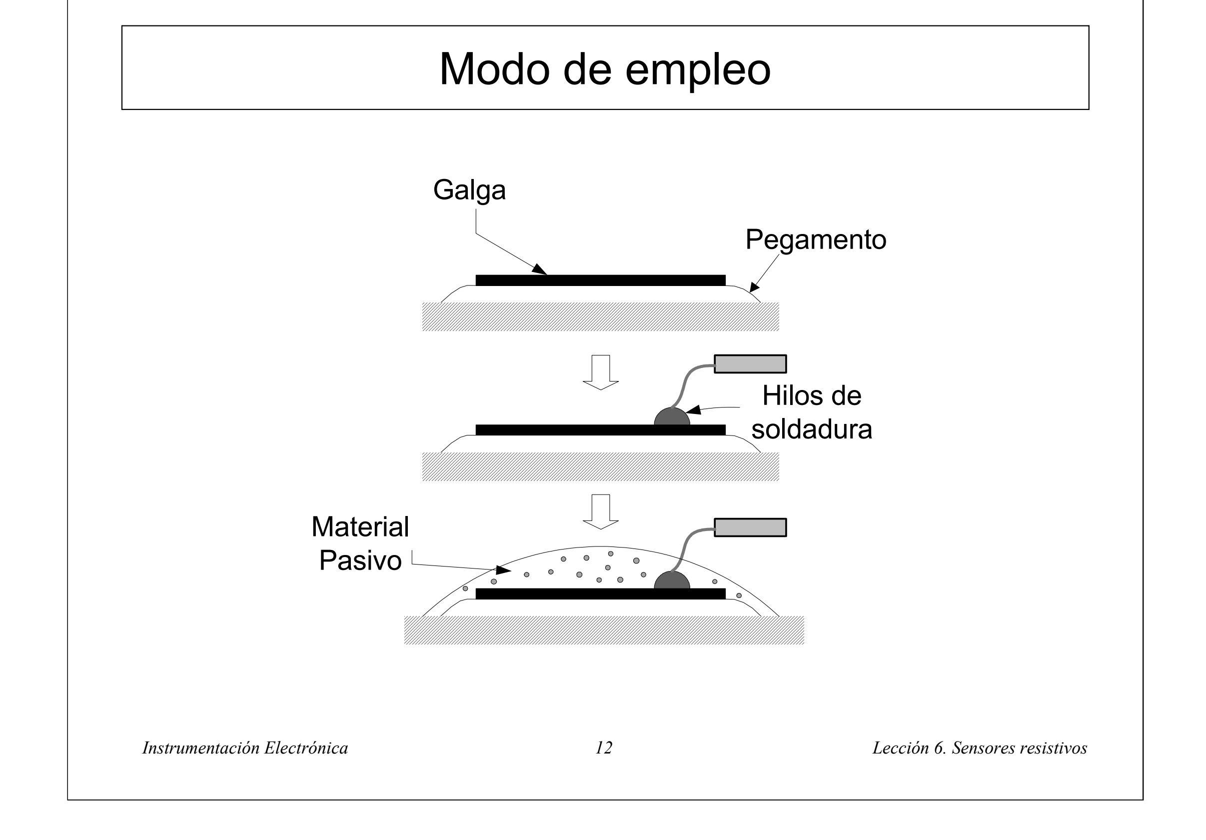
• **Galgas metálicas**: para su fabricación se emplean diversos conductores metálicos, como las aleaciones constantán, karma, isoelestic y aleaciones de platino. Pueden ser de:

- Hilo metálico. Son las más sencillas. Normalmente están adheridas a una base de dimensiones estables. Introducen errores en la medida ante estados tensionales no longitudinales.

- Película metálica. Son las que se desarrollan por métodos de fotograbado. Se fabrican de forma similar a la producción de circuitos impresos en bases flexibles.

\- Metal depositado. Son las aplicadas directamente sobre superficies mediante métodos de evaporización o bombardeo químico. Se usan en los diafragmas de los sensores de presión.

• **Galgas semiconductoras**: se fabrican de silicio u otro material semiconductor. El margen de medida es aproximadamente igual a 3000 με mientras que las de metal se extiende hastan hasta aproximadamente 40000 με. Su cambio resistivo es menos lineal que las de metal y tienen una gran dependencia de la temperatura. Se usan en la fabricación de sensores integrados de presión donde se implantan en microdiafragmas para medir presión.



Para la correcta utilización de las galgas se debe de tener en cuenta lo siguiente:

a) Las galgas solo miden en una dirección, por lo que cuando se colocan se debe tener cuidado de alinearlas teniendo en cuenta las marcas de alineación que presentan.

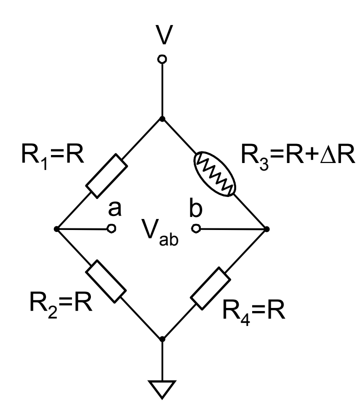
b) Solo proporciona la medida del estado tensional de la superficie que ocupa la galga, no el de toda la superficie.

c) Si se desconoce la dirección de la tensión a que estará sometida la galga se podría utilizar dos galgas dispuestas en la misma zona ortogonalmente.

d) La transmisión del esfuerzo de la superficie en que se va a medir hasta el metal debe de realizarse sin pérdida de información, por lo que el sistema debe garantizar la no absorción del esfuerzo. Para ello se emplean pegamentos de gran resistencia mecánica que permiten un óptimo funcionamiento. También se debe tener una cierta preocupación en la “pasivación” de la superficie expuesta mediante una capa de material que la proteja frente a inclemencias ambientales.

Circuitos de medida

¼ de puente



$$v_{ab} = V\left(\frac{1}{2} - \frac{R}{R+(R+\Delta R)}\right) = V\frac{\Delta R}{4R+2\Delta R}$$

- Como 4R >> 2ΔR ⇨

$$v_{ab} \cong V\frac{\Delta R}{4R} = V\frac{K\varepsilon}{4}$$

- Sensibilidad del puente:

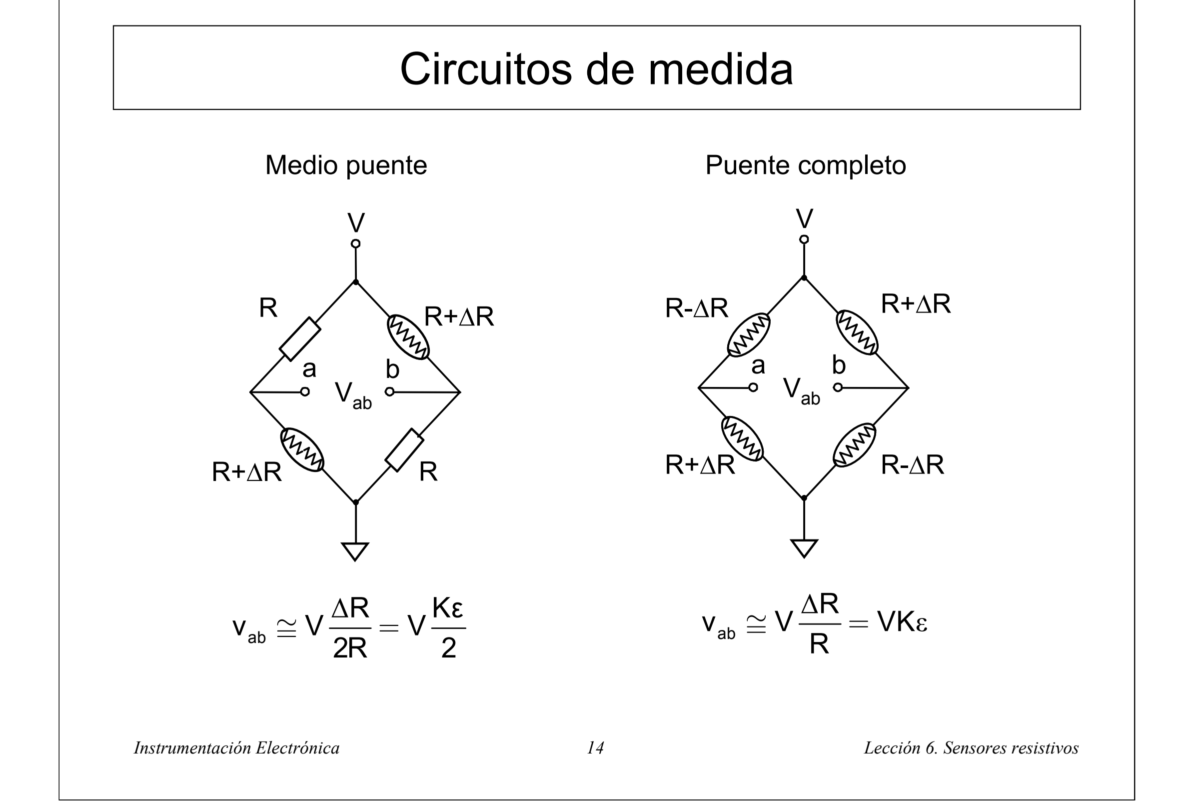
$$S_P = \frac{v_{ab}}{\Delta R} \cong \frac{V}{4R}$$

Para la media de los cambios producidos por las galgas extensiométricas se utiliza la configuración en puente de Wheatstone. Este tipo de configuración es muy sensible a pequeños cambios en las resistencias del puente.

La figura muestra el puente de medida más sencillo. El análisis del circuito se lleva a cabo asumiendo que todas las resistencias son iguales cuando no hay deformación extensiométrica. Entonces, si ΔR =0, se obtendrá un voltaje de salida dado por:

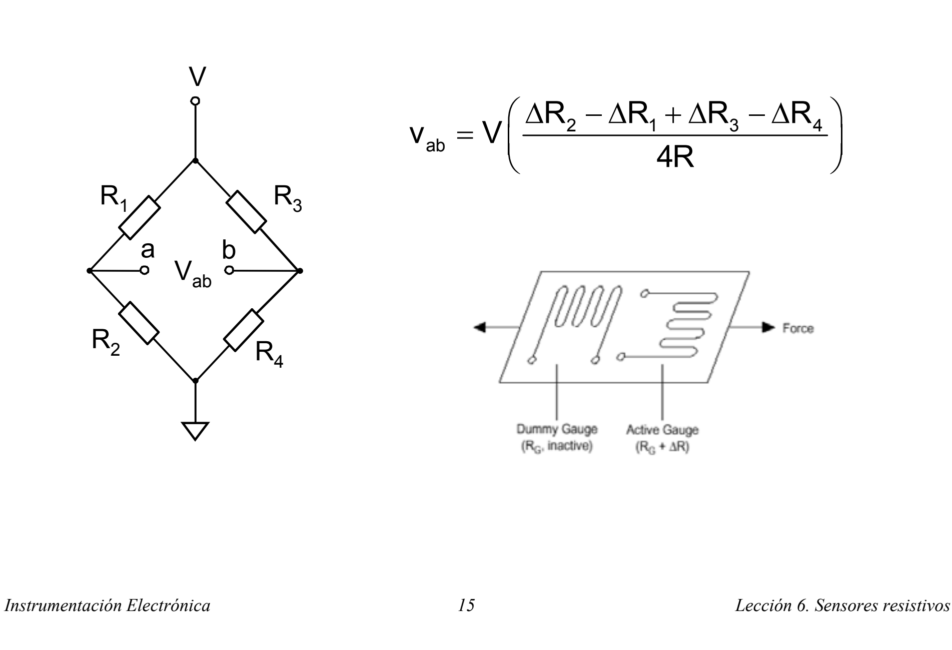
$$v_{ab} \simeq V\frac{\Delta R}{4R}$$

La tensión de salida del puente es muy pequeña y deberá ser amplificada por un amplificador de instrumentación.



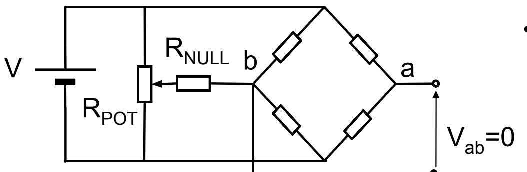
Se puede duplicar la sensibilidad en el voltaje de salida disponiendo dos galgas activas una a tracción y otra a compresión como se muestra en la figura. Además se compensa el efecto de la temperatura.

Compensación de temperatura

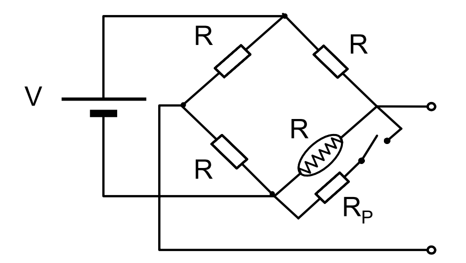


Las galgas son bastante sensibles a la temperatura (hasta 50 $\mu\varepsilon$/ºC), por lo que se suelen compensar mediante una galga pasiva conectada en la misma rama que la activa y físicamente próxima a ella, de forma que se encuentre a su misma temperatura, pero no sometida a esfuerzos, por ejemplo R_3 galga activa y R_4 galga de compensación o bien R_2 galga activa y R_1 galga de compensación.

Utilización de los circuitos de medida



• **Equilibrado**:
Se equilibra el puente mediante R_{POT} y R_{NULL} hasta que V_o = 0V



• **Calibración** (mediante shunt)
Se coloca un resistencia de precisión R_P que simule una deformación:

$$\varepsilon_{ficticia} = \frac{R}{K(R + R_P)}$$

La utilización de los puentes de medida con galgas hay que tener en cuenta diversos aspectos:

a) Equilibrado del puente. En ausencia de esfuerzos, la tensión de salida del puente debe ser nula. Se ajusta con el potenciómetro R_{POT} y R_{NULL}.

b) **Calibración del puente**. Se coloca un resistencia R_{SH} en paralelo con la galga activa. La deformación que simula esa resistencia está dada por la expresión de la figura. La resistencia del interruptor ha de ser muy baja, se recomienda el uso de relés encapsulados al vacío.

c) Cableado del puente. En muchas ocasiones el puente no está en el mismo lugar que las galgas, por lo que las resistencias del cableado pueden afectar a la medida. Este efecto puede compensarse equilibrando el puente antes de utilizarlo para medir.

Otro efecto es la variación de las resistencia del cable con la temperatura. En este caso se puede efectuar una medida a tres hilos.

Aplicaciones

Células de carga

• Puentes de galgas pegadas a la pieza.

• Detectan cambios entorno a 500 ÷ 2000 $\mu\varepsilon$.

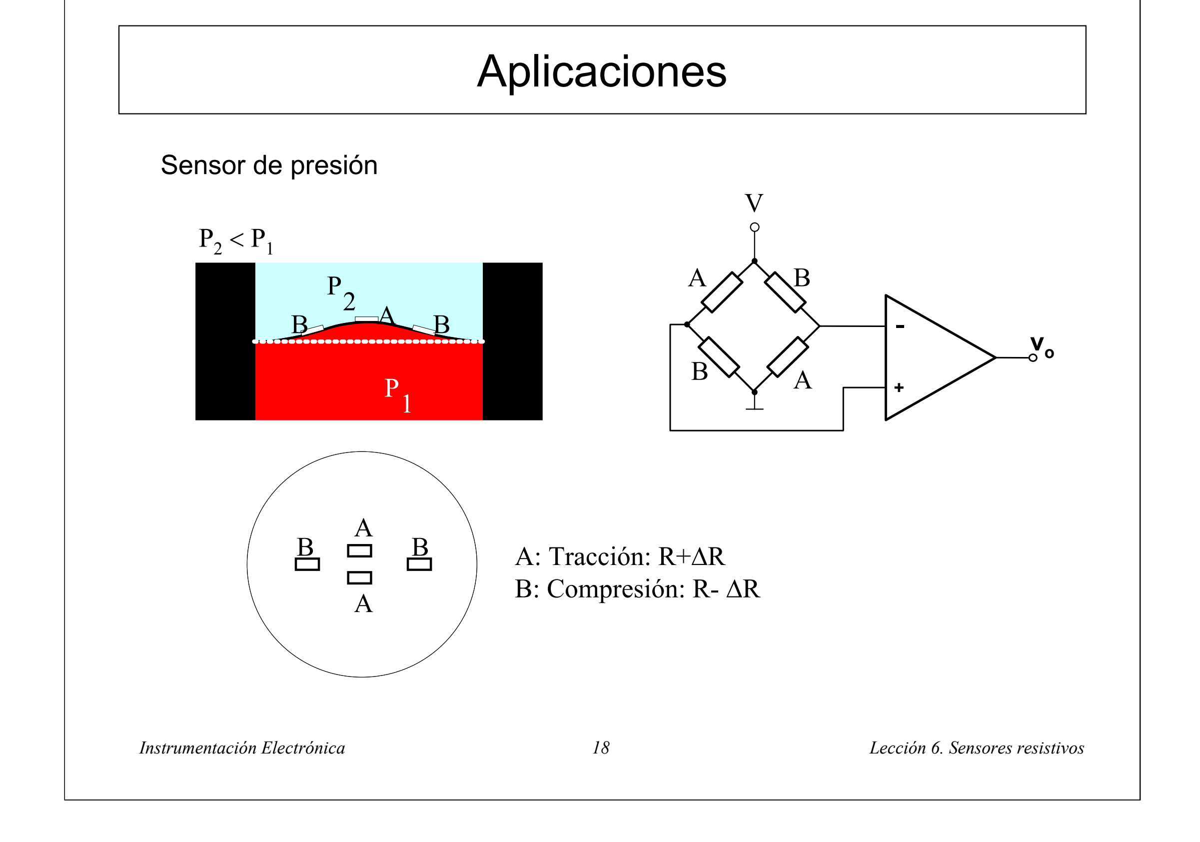
• Pesaje de tanques, silos y grades pesos industriales.

Las galgas pueden utilizarse para dos tipos de aplicaciones:

- Medir estados de deformación.
- Medir otras variables: principalmente peso y presión.

Para la medida de peso se emplean las denominadas **células de carga** (*load cells*). Se trata de piezas mecánicas de variada configuración, diseñadas de tal forma que en alguna parte de su estructura, el peso aplicado se transforma en una deformación proporcional que se mide con dos o cuatro galgas. Los fabricantes especifican la sensibilidad del puente que contienen como la tensión de salida partido por la tensión de alimentación. **F**

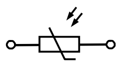
Variando la alimentación dentro del margen permitido por el fabricante podemos acondicionar la salida del puente al margen dinámico de entrada del amplificador al que conectemos la salida.



La **medida de presión** se realiza mediante un sistema de membrana que transforma la diferencia de presión entre sus dos caras en una deformación que se mide mediante un puente de cuatro galgas en el que dos trabajan a tracción y dos a compresión, tal como se muestra en la figura.

6.3 Fotorresistencias (LDR)

- Resistencias semiconductoras cuyo valor depende de la luz



- Material: CdS, CdSe
- Respuesta lenta (segundos)
- Detección de cambios de luz



Las fotorresistencias (LDR) son sensores resistivos basados en semiconductores empelados para la medida y detección de radiación electromagnética.

Una LDR típica consiste en una fina capa semiconductora dispuesta sobre un sustrato cerámico o plástico. La película semiconductora describe una pista en zig-zag con contactos en los extremos. La forma de la película sensitiva tienen por objeto maximizar la superficie de exposición y al mismo tiempo mantener un espacio reducido entre los electrodos para aumentar la sensibilidad.

Entre los materiales semiconductores más usados para realizar las LDRs se encuentran el sulfuro de cadmio (CdS) y el seleniuro de Cadmio (CdSe). Estos materiales son muy utilizados sobre todo en los sensores fotoconductivos de bajo coste; sin embargo su respuesta es relativamente lenta, desde 10 ms a varios segundos. La tensión máxima que pueden soportar puede llegar hasta 600 V y hay modelos capaces de disipar más de 1W.

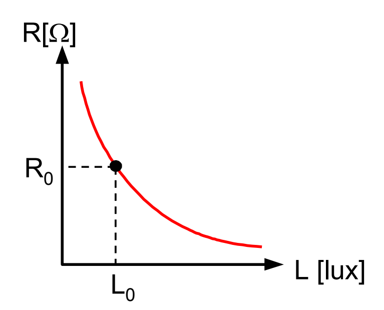
Modelo

$$R_L = R_0 \left(\frac{L_o}{L} \right)^{\alpha}$$

L = iluminación (lux)

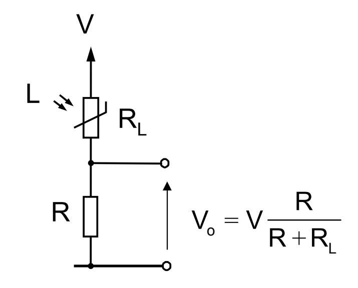
α = constante que depende del material (0,7 – 1,5)

R_0 = resistencia al nivel de luz L_o (2 K – 200 K@10lux)



Circuito de medida

• Detector de luz



$$R = \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} R_{Lc}$$

R_{Lc} = resistencia de la LDR en el punto central del intervalo de medida

$$V \prec 2\sqrt{\delta(\Delta T)R}$$

δ= coeficiente de disipación (mW/K)
ΔT = incremento de temperatura máximo

El acondicionamiento suele realizarse mediante un divisor de tensión, siendo aplicables las consideraciones realizadas para las NTCs. Así, en aplicaciones de medida donde se busca una respuesta lineal, la obtención del valor de R puede hacerse calculando el valor que lleve a la máxima linealidad en el punto central del intervalo de medida.

El circuito de la figura se comporta como un detector de luz. Así cuando el nivel de luz aumenta R_L disminuye y V_o aumenta. Para detectar cuando el nivel de luz disminuye por debajo de un determinado nivel de luz se intercambia las posiciones de la LDR y de R.

Haciendo que el punto de inflexión coincida con el centro de nuestro intervalo de medida, se obtiene el valor de R, donde R_{Lc} es la resistencia de la LDR en el punto central del intervalo de medida. El valor de V debe limitarse para que no exista autocalentamiento, resultando $V = 2(\delta\Delta TR)^{1/2}$.

Al igual que hacíamos en las NTCs se puede linealizar la respuesta de las LDR conectando una resistencia en paralelo a costa de disminuir la sensibilidad.

Aplicaciones típicas

- Fotometría
- Detección de cambios de luz
- Aplicaciones de baja frecuencia

Las aplicaciones típicas de las LDRs se centran en la medida de luz (fotometría) y en la detección de cambios de luz. Las fotorresistencias son sensores bastante sensibles, sobre todo con bajos niveles de iluminación, aunque en esta zona su dependencia con al temperatura se hace muy acusada. Otro inconveniente es su lentitud de respuesta ya que presentan constantes de tiempo del orden de segundos lo que limita su uso a aplicaciones de baja frecuencia.

6.4 Sensores de gases de óxidos metálicos

- Compuestos de óxidos metálicos semiconductores (SnO_2)
- Detectan: O_2
  Gases de combustibles : propano, metano, hidrógeno
  Gases tóxicos: CO, amoníaco
  Disolventes orgánicos: alcohol, tolueno.
  Contaminantes: CO_2



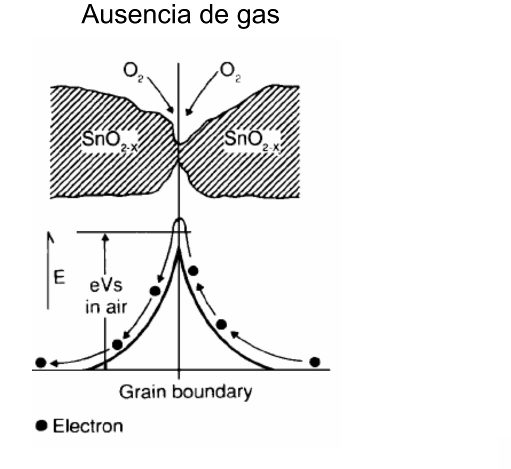
© figarosensor.com

Los sensores de gases están compuestos de óxidos metálicos, generalmente de estaño (SnO_2). Se utilizan para la detección de un buen número de gases de interés industrial como:

- Oxígeno.
- Gases combustibles: propano, metano, hidrógeno, etc.
- Gases tóxicos: monóxido de carbono, amoníaco.
- Disolventes orgánicos: alcohol, tolueno, etc.
- Contaminantes: CO_2.
- Clorofluorocarbonos (CFC)

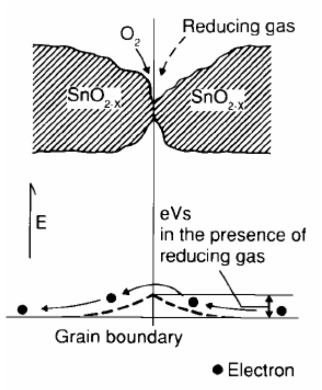
Principio de funcionamiento

Ausencia de gas



El O_2 del aire se carga negativamente con los e^- del S_nO_2

Presencia de gas

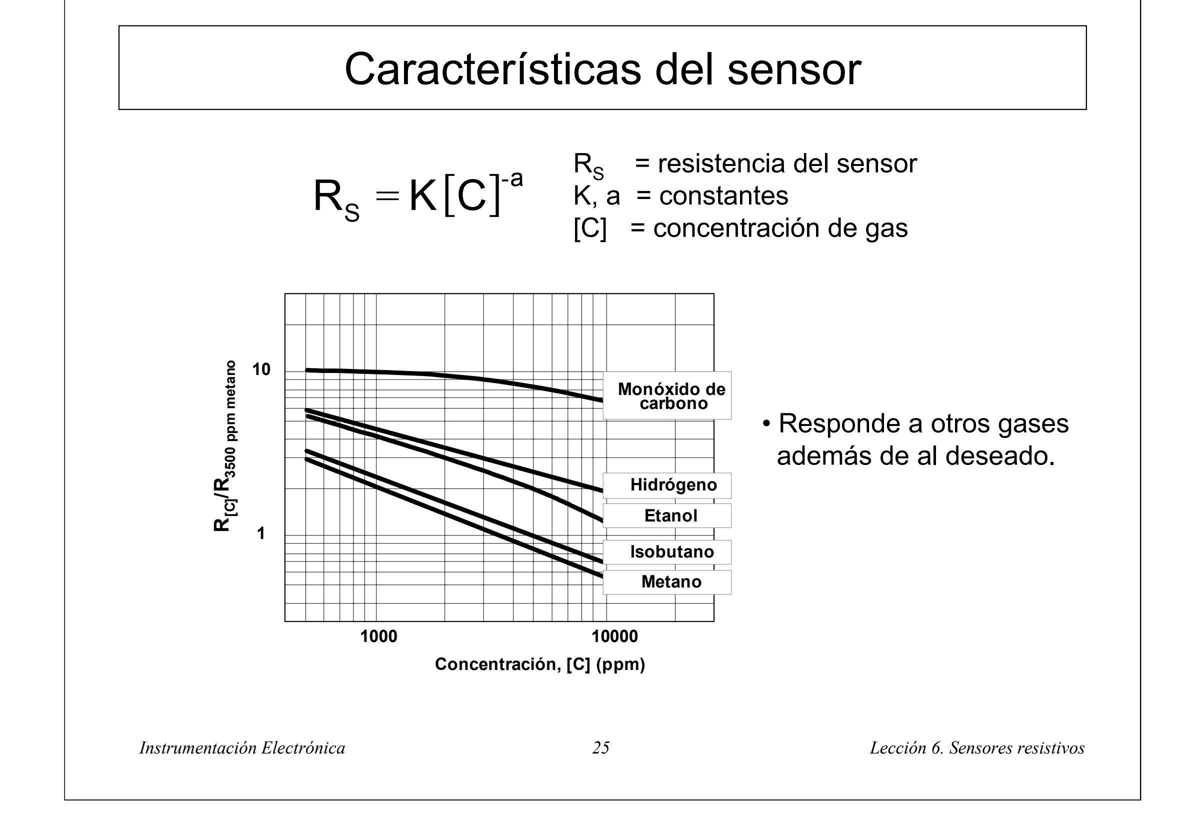


$$1/2O_2 + (SnO_{2-x})^* \rightarrow O^-ad(SnO_{2-x})$$
$$CO + O^-ad(SnO_{2-x}) \rightarrow CO_2 + (SnO_{2-x})^*$$

El óxido de estaño puro es un semiconductor tipo n debido a la existencia de vacantes de oxígeno, que actúan como donadores de electrones.

Cuando un cristal de SnO_2 se calienta a una temperatura suficientemente elevada, la superficie del cristal adsorbe oxígeno del aire. Los electrones donadores de la superficie del cristal son transferidos al oxígeno adsorbido formándose una barrera de potencial que impide el flujo de electrones. Dentro del sensor la corriente eléctrica fluye a través de la unión de los cristales de SnO_2 (fronteras de grano). En las fronteras de grano el oxígeno adsorbido forma una barrera de potencial que impide que los electrones se muevan libremente La resistencia eléctrica del sensor es debida a esta barrera de potencial.

En presencia de un gas reductor la densidad superficial del oxígeno cargado negativamente disminuye, por lo que la altura de la barrera de potencial en las fronteras de grano se reduce y por tanto se reduce también la resistencia eléctrica.

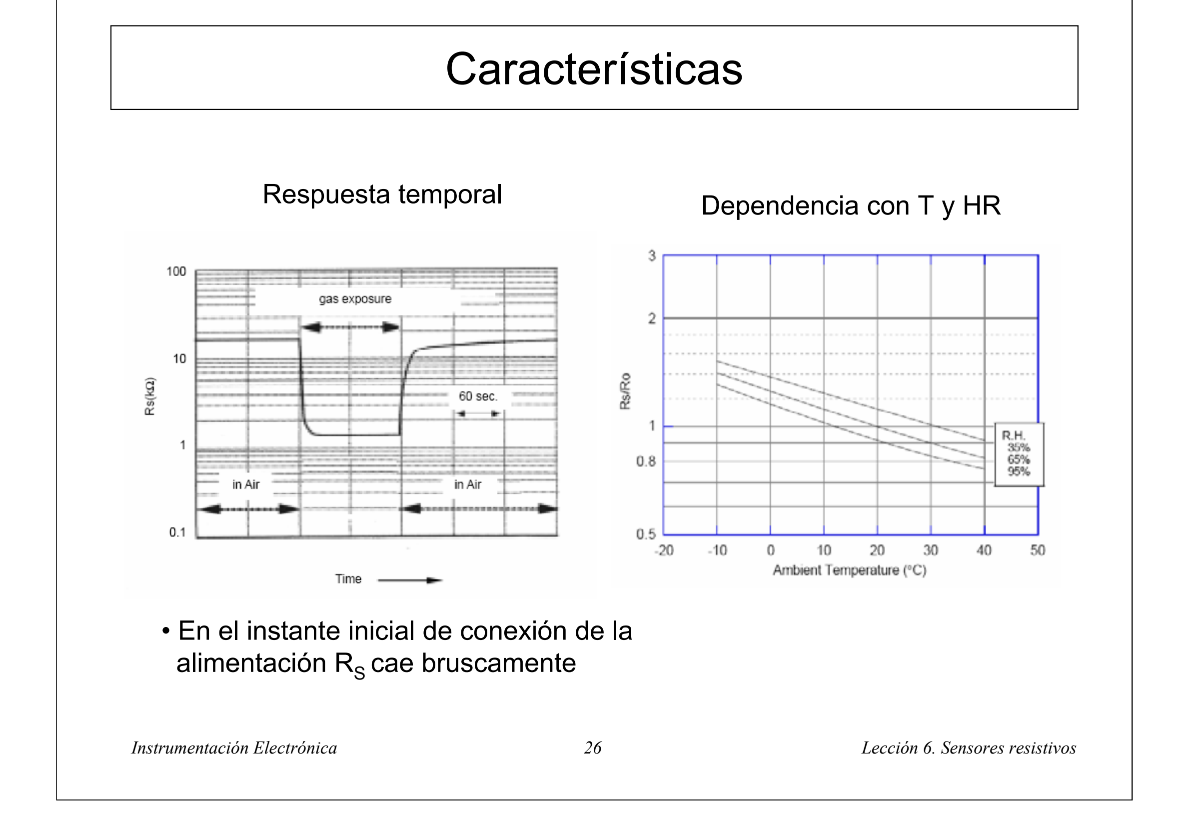


La relación entre la resistencia del sensor, R_S y la concentración de gas [C] puede expresarse, en un cierto margen de la concentración del gas, por la ecuación:

$$R_S = K\,[C]^{-a}$$

La figura muestra la respuesta del sensor de metano TGS 842 de la firma Figaro [4]. Se observa como el sensor no solo es sensible al metano, sino también a otros gases combustibles (escasa selectividad) Los valores de resistencia se expresan referidos a la resistencia del sensor a 3500ppm de metano.

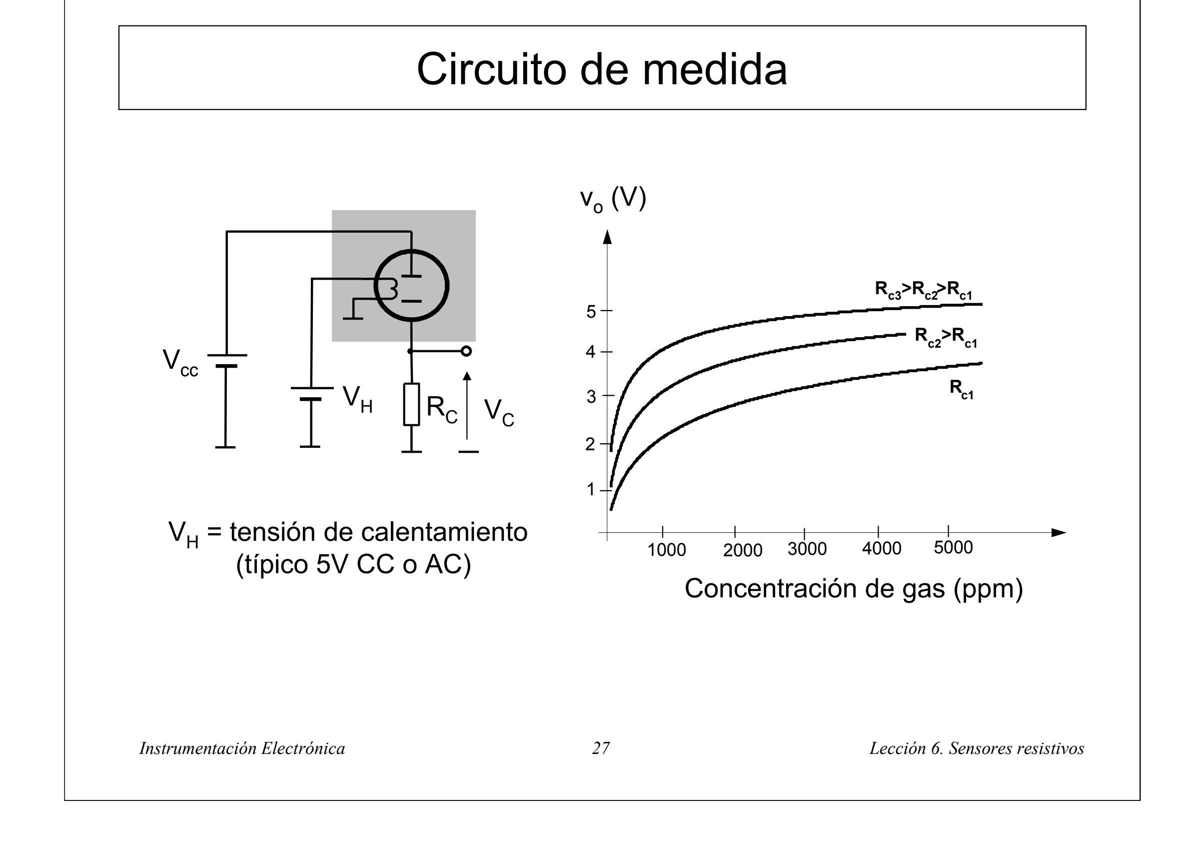
Puede conseguirse una mayor selectividad a un gas concreto en función de la temperatura de los electrodos y del filtro interno que incorporen.



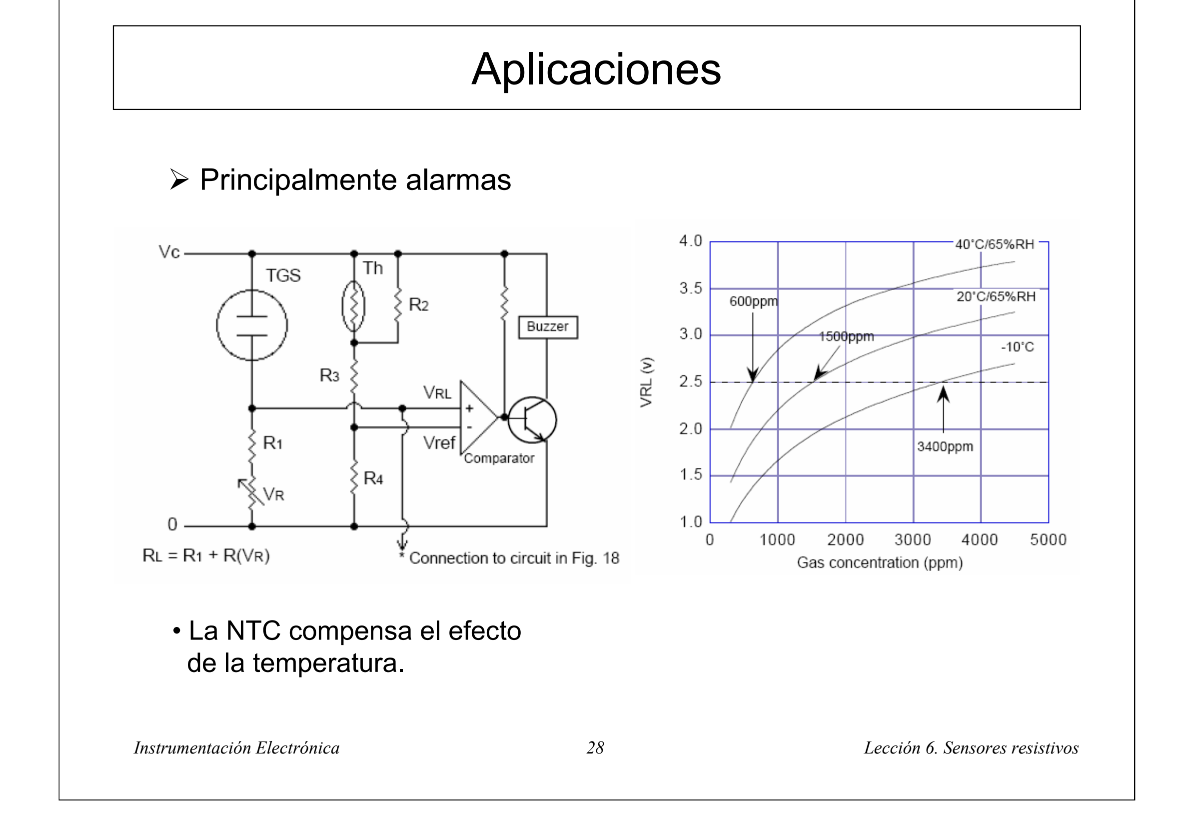
En la figura de la izquierda se muestra la respuesta temporal típica que presentan este tipo de sensores.

En el instante inicial de conexión de la alimentación, independientemente de la concentración de gases, la resistencia del sensor cae bruscamente puesto que no se adhiere el oxígeno. Esto podría ser interpretado como una concentración muy elevada del gas a detectar y provocar una falsa alarma. Ha de evitarse por tanto la medida durante dicho instante inicial. Cuando el gas a detectar desaparece la resistencia del sensor recupera su valor original. La velocidad de respuesta depende del modelo de sensor y del tipo de gas.

Otros inconvenientes de los sensores de gas es la fuerte dependencia con la temperatura y con la humedad del ambiente (ver figura). La temperatura ambiente afecta a la característica de sensibilidad cambiando la velocidad de la reacción química, por lo que se requiere emplear un circuito de compensación de temperatura. Así mismo la humedad causa una reducción en $R_{S.}$



Los sensores de gases presentan cuatro terminales, dos corresponden al propio sensor y otros dos, a los electrodos de calentamiento de forma que la temperatura sea la adecuada para que tengan lugar las reacciones químicas. Los electrodos de calentamiento tardan algún tiempo en alcanzar la temperatura nominal desde que se alimenta el dispositivo (30-60s). La tensión de calentamiento suele ser pulsos de una determinada duración.



Las aplicaciones de los sensores de gases son principalmente para detectar un nivel determinado de concentración de gas. Supongamos que se desea activar una alarma cuando la concentración de gas sea de 1500 ppm a 20ºC y 65% HR.

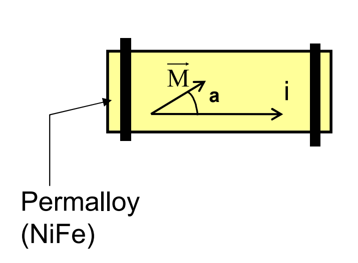
Como se observa en la figura, si la temperatura varía entre -10ºC y 40ºC el punto de alarma se desplazará entre 600 ppm y 3400 ppm. Para compensar el efecto de la temperatura se utiliza una NTC linealizada mediante la resistencia R_2 en paralelo. El comportamiento del sensor de gas y el de la NTC es idéntico y el punto de alarma no cambia.

Para evitar que se produzca una alarma en el instante inicial de conexión de la alimentación se monta el circuito de la figura.

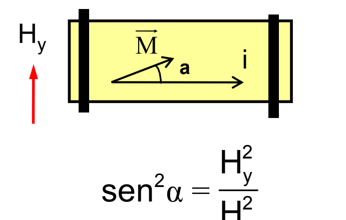
6.5 Magnetorresistencias

- **Efecto magnetorresistivo**: variación de la resistencia eléctrica del material en presencia de un campo magnético.

Sin campo aplicado



Con campo H_y aplicado



$$\text{sen}^2\alpha = \frac{H_y^2}{H_o^2} \qquad (1)$$

$$R = R_0 + \Delta R_0 \cos^2 \alpha \qquad (2)$$

Los sensores magnetorresistivos (MR) se fabrican depositando una película delgada de una aleación Ni-Fe (*Permalloy*) sobre una oblea de Si, formando así una lámina resistiva. Durante el proceso de deposición, el material es sometido a un campo magnético externo para alinear en una cierta dirección su vector de magnetización **M**.

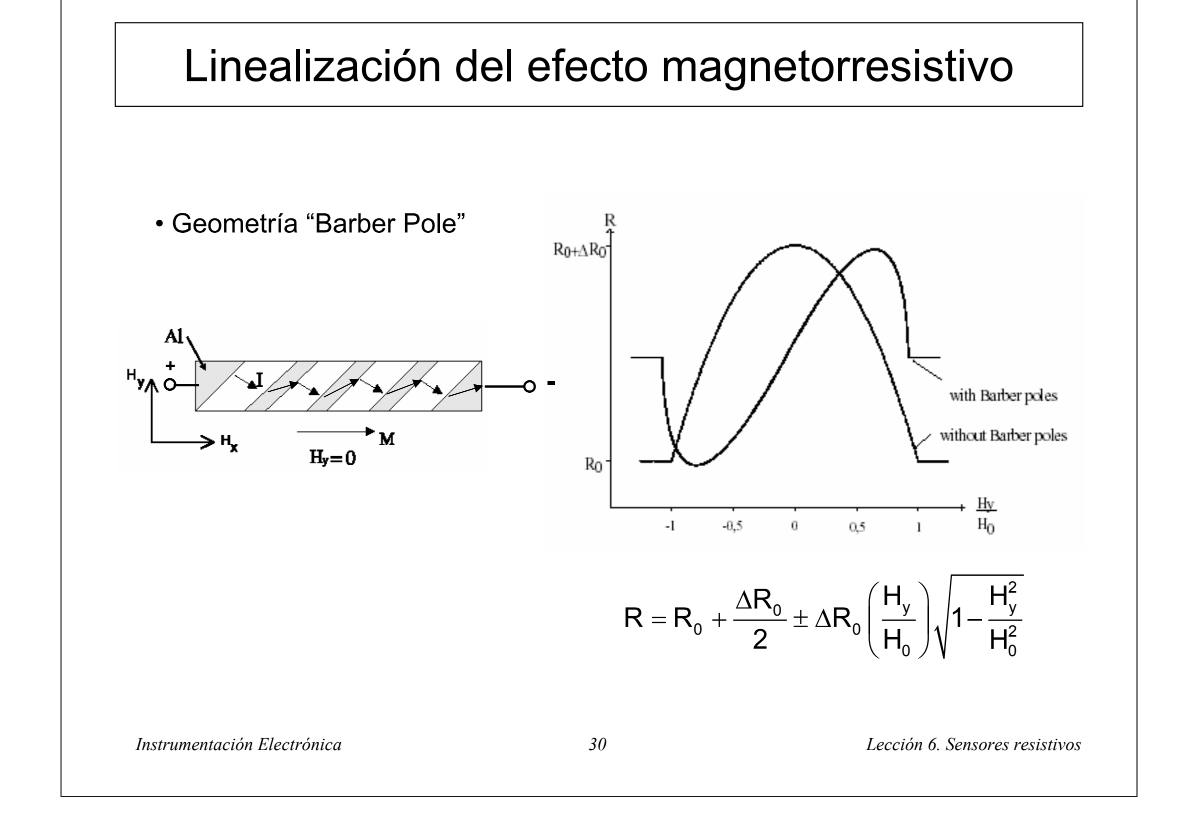
Si se aplica un campo magnético H paralelo a la lámina de *permalloy* y perpendicular a la corriente, el vector **M** gira acercándose a la dirección de la corriente. El ángulo relativo α entre **M** e **i** viene dado por la expresión:

$$\text{sen}^2\alpha = H_y^2/H_o^2$$

La resistencia de la lámina cambia en función del ángulo α según:

$$R = R_o + \Delta R_o \cos^2\alpha$$

donde H_o es el llamado campo característico del material (debido a la magnetización inicial), R_o es la resistencia del material cuando **M** e **i** son perpendicuales (valor mínimo). El valor máximo de la resistencia se tendrá cuando la corriente sea paralela o antiparalela a la magnetización, mientras que el valor mínimo corresponderá a una orientación perpendicula entre ambos.

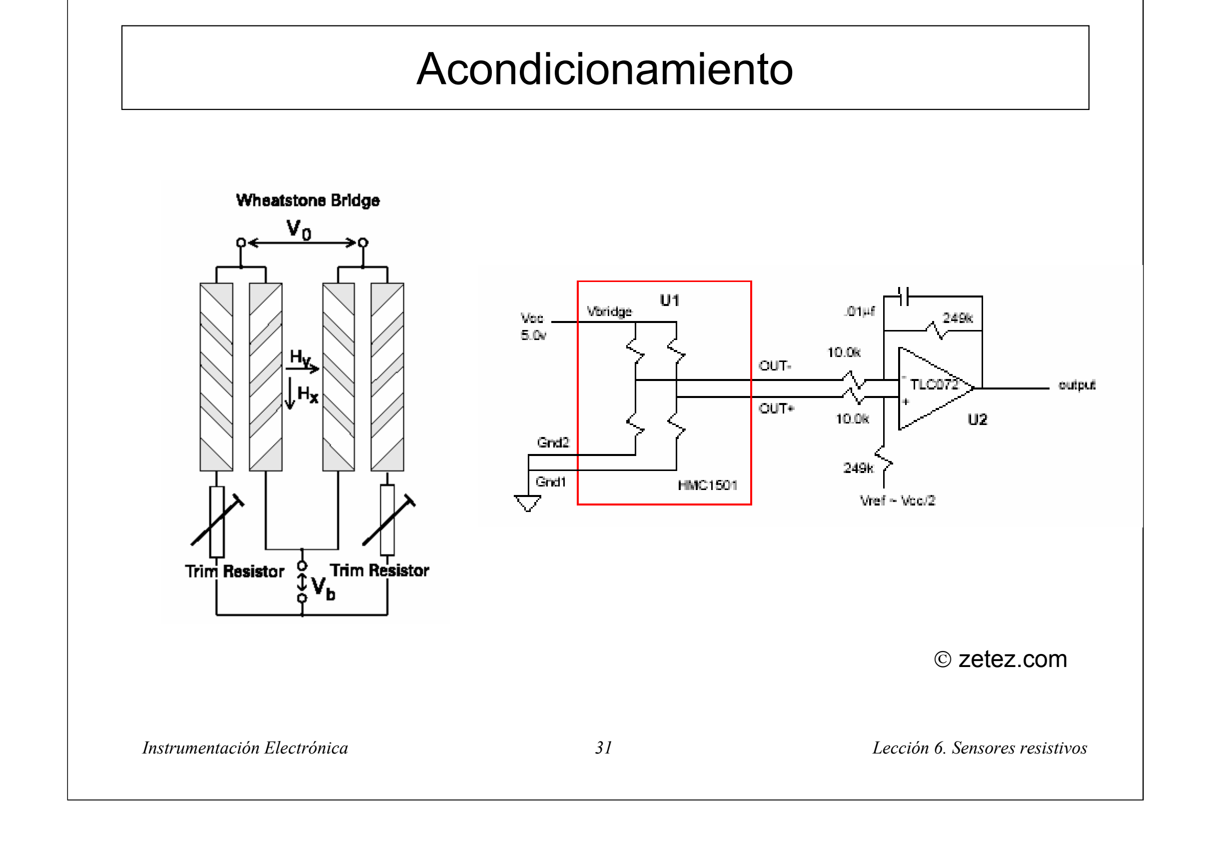


La linealización de la ecuación (2) se realiza añadiendo tiras de Al (*barber pole*) sobre la superficie de *permalloy* y a 45º respecto al eje longitudinal. Como el Al tiene una conductividad mucho mayor que el *permalloy* el efecto es una rotación de 45º de la corriente cambiando el ángulo entre **M** e **i** de α a (α-45º). La relación entre la resistencia y el campo es ahora:

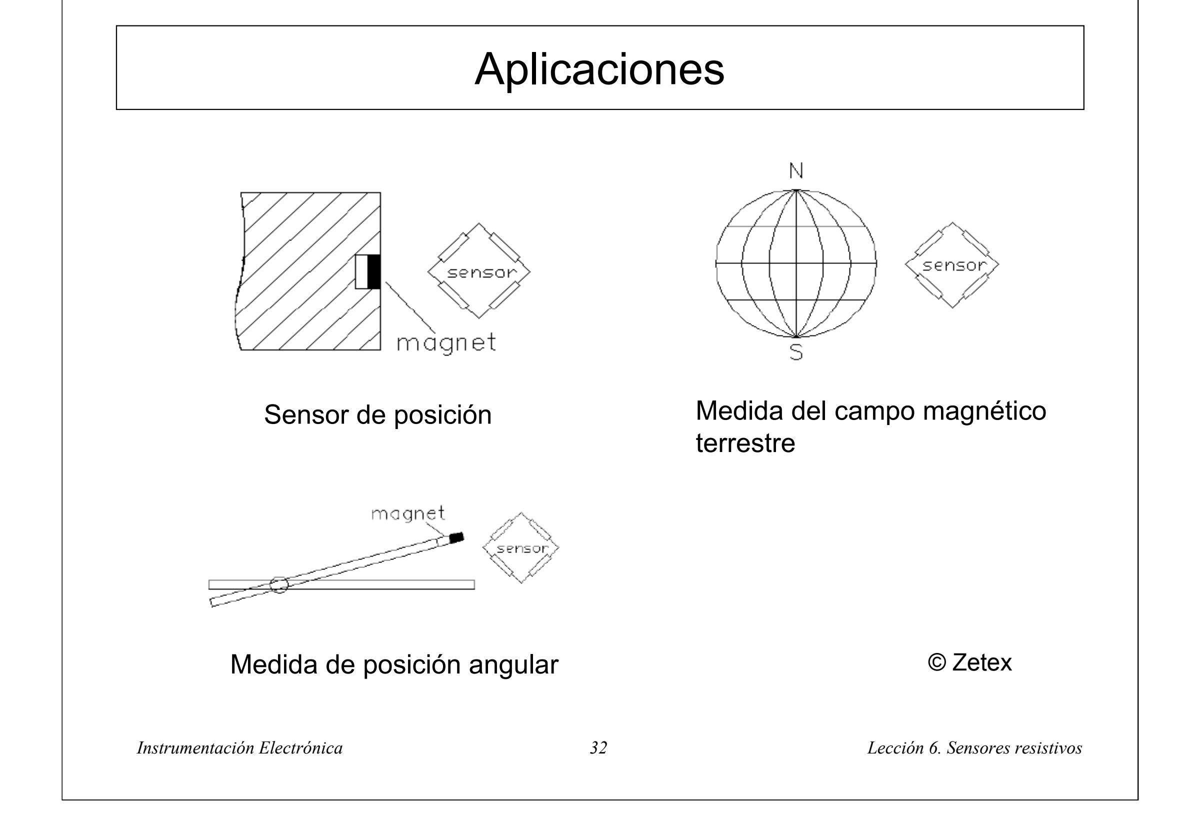
$$R = R_0 + \frac{\Delta R_0}{2} \pm \Delta R_0 \left(\frac{H_y}{H_0}\right)\sqrt{1-\frac{H_y^2}{H_0^2}}$$

La ecuación es lineal para $H_y^2/H_0^2=0$ (para $H_y < 0{,}5H_0$ el error es $\leq$ 5%). La figura muestra esta dependencia.

La magnetización inicial (en ausencia de campo magnético) puede alterarse o perderse por la acción de campos externos de desmagnetización no deseados. Para que no ocurra esto, de forma periódica se somete el sensor a pulsos externos de reorientación del vector **M**.

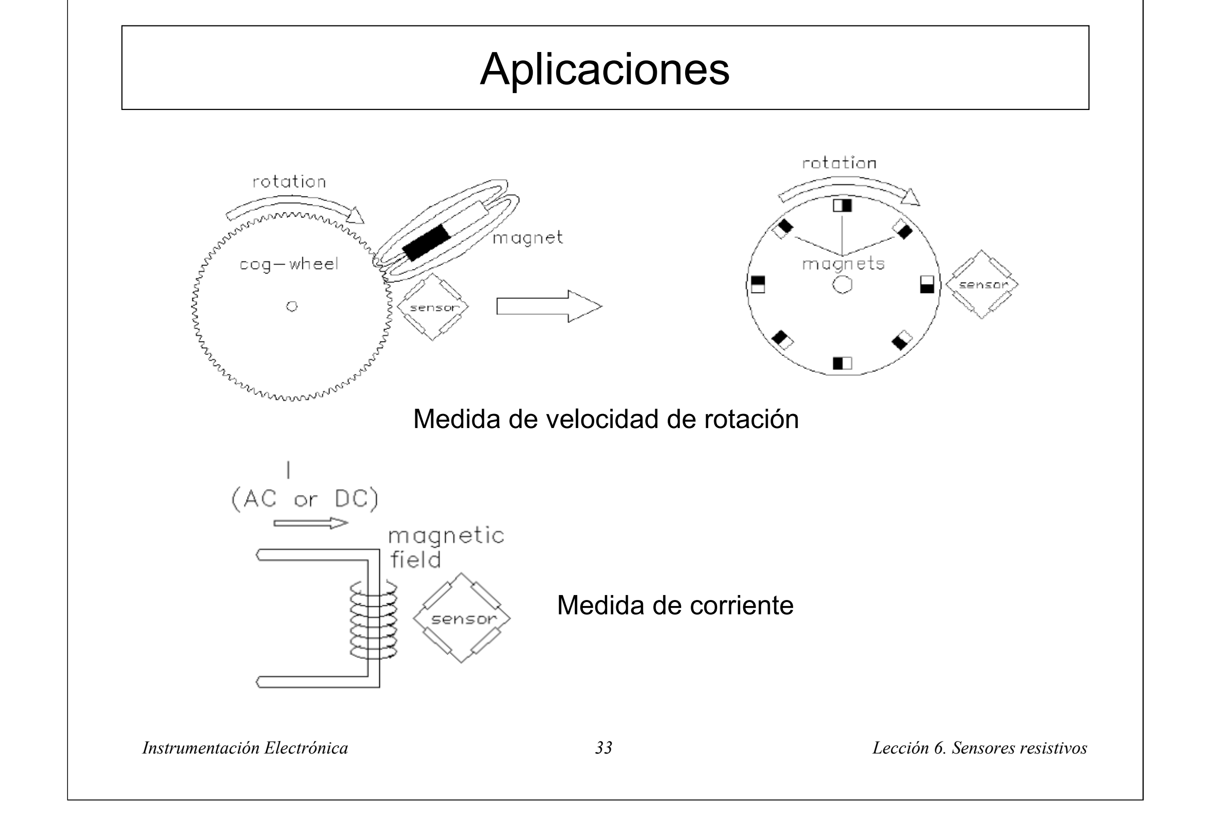


Las láminas de material semiconductor magnetorresitivo se utilizan formando estructuras de puente o semipuente de Wheatstone. Con ello se tiene una primera compensación térmica del subsistema sensor resultante. La figura de la izquierda muestra un puente de Wheatstone en el que cada mitad del puente está formado por dos magnetorresistencias sensoras con sensibilidad opuesta a la acción del campo magnético. Cada mitad del puente se ajusta empleando una resistencia adicional para tener una tensión $V_b/2$ de forma que $V_o = 0$ cuando no hay campo externo aplicado.



El campo magnético terrestre puede considerarse uniforme en una región de varios kilómetros cuadrados. Un objeto ferromagnético, como puede ser un vehículo, altera el campo terrestre localmente, por lo que se puede detectar esta perturbación mediante un sensor MR. Mediante un procesamiento posterior de la señal analógica obtenida es posible clasificar los vehículos por su tamaño.

Otras aplicaciones de interés son el diseño de medidores electrónicos del campo magnético terrestre (compás electrónico), acelerómetros, sensores de vibración, medidores de posición lineal y angular o sensores de corriente. En la figura se recogen ejemplos prácticos de aplicación.



La disposición de los imanes en una rueda que gira permite la presencia o ausencia de campo magnético en las proximidades de la rueda. Este campo magnético es detectado por un sensor MR generando una señal cuadrada de frecuencia igual a la velocidad angular de la rueda.

El campo magnético que genera una corriente puede ser detectado por los sensores MR. El sensor es un puente de Wheatstone formado por dos resistencias activas al campo magnético creado por la corriente y dos pasivas. Para ello la corriente incógnita (en CC o CA) se hace pasar a través de un conductor que se encuentra integrado en el mismo encapsulado que el sensor.

Asimismo, en la industria del automóvil los sensores MR han encontrado un gran campo de aplicación (medida de consumo de corriente en el circuito de alumbrado, detección de fallos en lámparas, diseño de tacómetros, sistemas de frenado ABS, etc.)

Referencias

[1] Instrumentación Electrónica. Thomson 2003.

[2] Sensores potenciométricos: www.spaceagecontrol.com

[3] Galgas extensiométricas: www.efunda.com

[4] Sensores de gases: www.figarosensor.com

[5] Sensores magnetorresistivos: www.zetex.com, www.honeywell.com